

# 観測機器分科会

～観測機器開発の最前線～

日時	7月30日 10:30 - 12:30, 13:30 - 14:30, 14:30 - 15:30 (招待講演：秋山 正幸 氏) 7月31日 9:00 - 12:30, 14:30 - 15:45, 16:00 - 17:00 (招待講演：都丸 隆行 氏) , 18:00 - 19:00
招待講師	秋山 正幸 氏 (東北大学)「補償光学系の可能性」 都丸 隆行 氏 (高エネルギー加速器研究機構)「宇宙マイクロ波背景放射偏光望遠鏡の 先進テクノロジー」
座長	牛場 崇文 (東京大学 D1)、徳田 一起 (大阪府立大学 M2)、夏目 典明 (京都大学 M2)
概要	<p>観測機器分科会では電波・赤外線・可視光線・紫外線・X線・<math>\gamma</math>線・ニュートリノ・重力波など、天文学で観測の対象となるすべての分野の研究者が集まり、観測機器開発という共通のテーマを持って議論を行います。他分野・他派長における最先端技術の話の聞き、それに携わる研究者と交流することにより、自らの分野の観測機器への応用を考えたり分野内の議論だけでは得られない貴重な意見を得たりすることが可能です。観測機器分科会では天文観測を主眼としている方はもちろんのこと、理論分野の方も歓迎します。当然のことですが、機器開発は新しいサイエンスを切り開くために行われます。したがって、理論・観測分野の研究者が参加することは、観測機器に関する要求を取り入れることができるという点で非常に重要です。また、機器開発によるサイエンスが魅力的なものであればあるほど、機器開発に携わる人のモチベーションの増加にもつながります。さらには、理論・観測分野の研究者が最新の機器開発状況に触れることは、新しいサイエンスの可能性を探るきっかけになり得るものです。観測機器分科会で多くの分野の研究者が情報交換をし、自らの研究や他の研究に関する知見を広められることを期待します。是非、ご参加ください。</p> <p>装置開発に関するものは基本的に観測機器分科会で扱います。取り扱う分野は以下の通りです。 「電波」「赤外」「可視光」「紫外線」「X線」「ガンマ線」「重力波」 注) 開発する装置が目指す科学目標に話の重点を置く場合は、それに該当する分科会で扱います。</p>

秋山 正幸 氏 (東北大学)

7月30日 14:30 - 15:30 B(エメラルド)

## 「補償光学系の可能性」

現在の8-10m級の地上大型望遠鏡では補償光学系が観測に定常的に使用されている。2020年代のThirty Meter Telescopeをはじめとする30m級の次世代超大型望遠鏡の時代には、その大口径の空間分解能や集光力を最大限に生かす上で、補償光学系は必須の技術となる。補償光学系による観測は天空にある星を用いて補償を行う自然ガイド星補償光学系から始まり、観測対象を広げるためにレーザーガイド星補償光学系へと発展し、またさらに多層共役補償光学系、極限補償光学系、多天体補償光学系、地表層補償光学系などいろいろな形で特化した補償光学系の検討や実現へと広がってきた。この講演ではまず大気揺らぎの性質と補償光学系を用いた観測の基本的な性能や制約について紹介する。その後で、世界の様々な天文台で現在進行している次世代の補償光学系の開発について紹介する。最後に我々のグループで行っているTMTの多天体補償光学系やすばる望遠鏡の地表層補償光学系の開発や検討の状況を紹介したい。この講演からぜひすばる/Keck/Geminiに補償光学系を用いた観測のプロポーザルを出すことや補償光学系を開発することに興味を持ってもらえればと思います。

都丸 隆行 氏 (高エネルギー加速器研究機構)

7月31日 16:00 - 17:00 B(エメラルド)

## 「宇宙マイクロ波背景放射偏光望遠鏡の先進テクノロジー」

宇宙マイクロ波背景放射(CMB)は初期宇宙を探る有力なツールであり、WMAPやPLANK衛星による観測結果から高精度な宇宙論パラメータ決定がなされている。現在CMB観測でもっとも注目されているのは、B-modeと呼ばれる鏡非対称な偏光パターン探査であり、特に空間スケールの大きなB-modeパターンは原始重力波により生成され、インフレーションモデルを決定できる可能性が指摘されている。このため、世界中で熾烈な競争が行われている。

我々のグループでは2012年からチリ・アタカマ高地でCMB偏光望遠鏡POLARBEAR(PB-1)を運用しており、またそのアップグレードレシーバーであるPOLARBEAR-2(PB-2)を開発中である。POLARBEAR実験では、極めて高感度な超伝導Transition Edge Sensor( TES)ボロメータアレイを導入している。超伝導の転移端を用いた高感度光センサーは1940年代には提案されていたが、あまりに転移幅が狭いため実用化していなかった。しかし、1990年代に伝熱フィードバック法が開発されて実用化がすすみ、PB-1では世界最多の1274コのTESボロメータを搭載するに至っている。(PB-2では7588コのTES搭載を目指している。)PBのTESボロメータは転移温度が約500mKであり、ソーブション冷凍機を用いて冷却されている。ソーブション冷凍機は冷凍能力が小さいため、光学ウィンドウからの熱侵入を押しやるための赤外線カットフィルターや断熱シールドなどにも先進技術が用いられている。また、低インピーダンスのTESを機能的に読み出すために、SQUIDアンプおよび周波数ドメインマルチプレキシングといったreadout技術も研究されている。本講演では、CMB偏光観測について概要を述べると共に、その中で用いられている先進技術について講演する予定である。

## 観測 01a TES 型 X 線マイクロカロリメータ読み出し系のデジタル化に向けた研究

千葉 旭 (東京大学 M1)

我々は次世代 X 線天文衛星、DIOS 衛星に搭載する観測機器の開発を行っている。DIOS は dark baryon を直接観測し、その空間分布を求めることを目的としている。そのためには数 eV という高いエネルギー分解能を実現できる超伝導遷移端温度計 (TES) を用いた TES カロリメータを  $16 \times 16$  素子ほど並べる必要がある。TES カロリメータの信号は超伝導量子干渉計 (SQUID) で負のフィードバックのもとで読み出す。TES カロリメータは  $\sim 100$  mK で動作させるため、多素子化に伴う読み出し配線群からの熱流入が大きな問題となる。したがって複数素子からの信号を 1 つの SQUID で読み出す信号多重化が必須課題である。我々は各 TES を異なる周波数 (MHz 帯) で駆動して振幅変調をかけた信号を多重化する研究開発を進めてきた。しかし位相回りによって正常にフィードバックがかからないという課題があった。我々は位相調整をした外部信号を参照することによって復調と再変調をする BBFB 回路を実用化することでこれを解決した。BBFB 回路はアナログ回路で構成されているが、読み出し系の小型化や再現性の確保のみならず、位相調整の自動化のために将来的にはデジタル化する。BBFB 回路のデジタル化では、復調時に位相調整が不要な 2 位相フィードバックの開発を視野に入れている。本講演ではこれまでの TES カロリメータ読み出し系の研究経緯を説明し、BBFB 回路のデジタル化に向けた 2 位相フィードバックの検証実験の結果について発表する

## 観測 02a 次世代 X 線衛星搭載を目的とした TES 型 X 線マイクロカロリメータの製作

林 佑 (東京大学 M1)

宇宙の大部分は X 線によって観測可能である。X 線は主に高温プラズマによって放射され、精密なプラズマ診断を行なうためには各輝線について微細構造を十分に分離できる分解能と  $0.1\text{keV} \sim 10\text{keV}$  の広いエネルギーバンドを観測できる X 線分光観測器が必要である。そのためには開口率を大きくするために吸収体を横に広くとることと、Wide Energy Band で観測するために、吸収体を縦にのばしていくことが求められている。しかし吸収体を大きくするとエネルギー分解能が劣化してしまう。そこで横方向に吸収体を大きくするのにマッシュルーム型にすることで解決をはかった。また縦方向には TES を重ねて配置することで吸収体を厚くすることなく、幅広いエネルギーバンドの実現に向けた X 線照射試験を行った。

1. K Nagayashi. 2012. Master's thesis, University of Tokyo.
2. H Yoshitake. 2009. Master's thesis, University of Tokyo.
3. Renyue Cen and Jeremiah P Ostriker. 2006. ApJ, 650(2):560-572.

## 観測 03a DIOS 衛星搭載へ向けた TES 型 X 線マイクロカロリメータの開発

山口 静哉 (首都大学東京 M1)

私は次世代 X 線天文衛星 DIOS (Diffuse Intergalactic Oxygen Sur-

veyor) 搭載へ向けた X 線分光素子、TES (Transition Edge Sensor) 型 X 線マイクロカロリメータの開発を行っている。宇宙の進化や大規模構造などを解明していく上で、宇宙の高エネルギー現象をとらえる事は重要である。そのために X 線輝線や吸収線を用いた詳細な分光は必須である。TES カロリメータは  $5.9\text{keV}$  の X 線に対して数 eV という高いエネルギー分解能を達成できる超精密分光器である。

X 線マイクロカロリメータは、入射 X 線光子の 1 つ 1 つのエネルギーを素子の微小な温度上昇として測る検出器である。入射する X 線の温度上昇は極めて小さいものであるが ( $\sim$ 数 mK)、素子を  $\sim 100$  mK と極低温下で動作させ、また高感度の温度計を用いることで、微小な温度上昇を計測できる。TES はカロリメータの中の温度計の役割を担っており、超伝導物質を使用している。超伝導-常伝導遷移端での数 mK という非常に狭い領域内で急激な抵抗-温度変化により素子の温度上昇を計測する。

TES 温度計には超伝導金属 (Ti) と常伝導金属 (Au) の二層薄膜を使用しており、現在は衛星搭載へ向け密集したアレイ素子の開発を進めている。アレイ化へ向けた課題として、従来のデザインでは大きく 2 つの問題がある。1 つは基板上のスペースの問題である。また、2 つ目の問題点は、ピクセル間のクロストークである。そこで、積層配線という折り返し配線の技術に取り組んでいる。これは  $\sim 10\ \mu\text{m}$  幅の Al や Nb の配線を電流の行きと帰りの配線を上下で重ね、間に絶縁体入れて酸化膜を挟みこんだデザインである。今回は、 $3.5\text{cm}$  角の基板上に  $20 \times 20$  の 400 ピクセル分の配線を形成し、下部配線に Al (厚み  $100\text{nm}$ )、上部配線に Nb または Al (厚み  $50\text{nm}$  または  $100\text{nm}$ ) を使用して配線基板を製作した。

1. T. Ishida, T. Kanda, H. Akamatsu, T. Enoki, K. Henmi, Y. Ishisaki, Y. Ezoe, T. Ohashi, K. Shinozaki, K. Mitsuda, H. Ohashi, L. Liu, J. Wang, H. Tanuma: Soft X-ray emissions related to the solar wind charge exchange observed by the X-ray satellite observatories, Journal of Physics: Conference Series, 388, Issue 8, article id. 082021 (2012)
2. T. Ohashi, Y. Ishisaki, Y. Ezoe, Y. Tawara, K. Mitsuda, N. Y. Yamasaki, Y. Takei: Status of the Diffuse Intergalactic Oxygen Surveyor (DIOS), Space Telescopes and Instrumentation 2012: Ultraviolet to Gamma Ray. Proceedings of the SPIE, 8443, article id. 844319, 10 pp. (2012)

## 観測 04a 科学衛星 HiZ-GUNDAM 搭載を目的とした X 線撮像検出器開発

高田 俊介 (金沢大学 M1)

我々は宇宙最大の爆発現象であるガンマ線バースト (Gamma-Ray Burst: GRB) を用いた初期宇宙探査のための科学衛星 HiZ-GUNDAM 搭載を目指した撮像検出器開発を行っている。現在発見されている GRB の大半は  $z < 7$  のイベントである。これは赤方偏移の影響により GRB のエネルギーが低い方へシフトし、運用中の GRB 検出器の観測エネルギー帯では捉えきれない可能性が高いためである。GRB は発生位置に偏りが無いため、初期宇宙探査の光源として用いるには撮像検出器のような装置で広視野をモニターし、発生位置を特定しなければならない。特に  $z > 7$  で発生した GRB を捉えるには数 keV 帯で感度を

持つ検出器が必要とされる。

開発中の検出器は電極がストリップ状のシリコン半導体検出器と符号化マスクを用いて GRB の発生方向を決定するが、シリコン半導体についてはまだ一つの電極からしか信号を読み出せておらず、分解能も FWHM で  $\Delta E = 2.85\text{keV}$  と我々の要求値には達していない。しかし、それは素子の静電容量が大きいためであり、静電容量が 1/10 になるように設計を行えば  $\Delta E \simeq 0.86\text{keV}$  まで改善すると考えられる。

また、開発中の検出器の GRB に対する感度を見積もり、他の検出器との比較を行った。結果、1keV からの読出しを行うことができれば運用中の GRB 検出器の中で最も低エネルギーに感度を持っている検出器に比べ、有効面積が 2 割程度でも 10 倍の感度を有することがわかった。

## 観測 05a モンテカルロシミュレータを用いた新型偏光検出器の性能評価

瀬田 大樹 (金沢大学 M1)

ガンマ線バースト (GRB) は数十秒間に  $10^{52} \sim 10^{54} \text{erg}$  ものエネルギーをガンマ線として放出する宇宙最大規模の爆発現象である。理論的には相対論的な速度を持ったジェットの中で、シンクロトロン放射によってガンマ線が作られると考えられており、そのガンマ線は強く偏光しているはずである。我々の研究グループでは GRB からの偏光の直接観測を目的としてコンプトン散乱の散乱異方性を利用した GRB 偏光検出器 GAP (Gamma-ray burst Polarimeter) を開発し、2010 年 5 月に打ち上げられた小型ソーラーセイル実証機「IKAROS」に搭載し観測を行なっている。その結果、3 例の極めて明るい GRB から偏光を検出し、シンクロトロン放射で輝いている可能性が極めて高い事を実証した。現在、ジェット内部の詳細な磁場構造の解明を目指し、より高性能な GRB 偏光検出器の開発を行なっている。新型偏光検出器には光電子増倍管にかわり MPPC (Multi-Pixel Photon Counter) を使用している。また円筒形で散乱体が 1 つしかなかった GAP と異なり、散乱体と吸収体を格子状に複数配置する形状となっている。これにより、より詳細な散乱角度の測定が可能になり検出感度が向上するはずである。本研究ではモンテカルロシミュレータである Geant4 を用いてシミュレーションを行い新型偏光検出器の性能評価を行った。その結果、GAP に比べ GRB の年間検出個数が約 3 倍向上することを明らかにした。講演では、偏光検出器の開発状況、現在開発した散乱体 4 本、吸収体 12 本配置した基礎モデルの実験結果。基礎モデルを拡張、改良したモデルのシミュレーション結果などについて紹介する。

## 観測 06a MeV ガンマ線観測実験に用いる次世代コンプトンカメラの開発

小田 真 (京都大学 M1)

MeV ガンマ線に関わる天体や現象は、超新星爆発時の元素合成過程、MeV 領域だけに特徴的な光度曲線をもつバルサー、ブラックホール存在の証拠となりうる  $\pi_0$  中間子の崩壊による放射線、など多数ある。MeV  $\gamma$  線を観測することで多くの重要な天体現象の解明につながる事が期待される。

しかし MeV 領域のガンマ線については他の領域に比べて観測された天体数が少ないというのが現状である。MeV 以下のエネルギーである紫外線や X 線と比べてフォトンのカウントレートが小さく、なおかつ透過性の強さから遮蔽によるバックグラウンド除去が難しい。さらに原子

核反応による放射線はエネルギーが MeV あたりの  $\gamma$  線が多く、宇宙線と検出器筐体との相互作用で生じるガンマ線などのバックグラウンドは特に MeV 領域の観測を制限してしまっている。

そのため我々のグループは次世代の検出器として、効率的にバックグラウンドを除去できる電子飛跡検出型コンプトンカメラ (ETCC) の開発を進めている。ETCC は  $\mu$ -TPC という高空間分解能ガス飛跡検出器とその周りの無機シンチレータで構成される。検出器内でコンプトン散乱が起こると、シンチレータによって散乱ガンマ線のエネルギーと散乱方向が、 $\mu$ -TPC によって反跳電子のエネルギーと飛跡が測定可能になっており、光子毎にコンプトン散乱を完全に再現することができる。さらにコンプトン散乱の運動学と幾何学的な関係式が一致するイベントだけを選ぶことによってバックグラウンドを除去、MeV 領域における高感度な観測が可能になっている。

我々 SMILE グループは ETCC を衛星に搭載する前段階として気球実験を行っている。2006 年には気球実験 SMILE-I を行い、測定時間 4 時間で ETCC のバックグラウンド除去能力の証明に成功した。2014 年以降、かにバルサーや白鳥座 X-1 などの天体のイメージングを目的とした気球実験 SMILE-II を予定しており、その実現に向けて ETCC の改良を進めてきた。より大きな有効面積が必要となるため  $\mu$ -TPC を大型化、それに伴ってシンチレータを増設し、省電力・小スペースのために独自の読出基盤を開発した。また飛跡取得アルゴリズムの MeV ガンマ線観測への最適化、熱環境試験など着実に準備が進んでいる。現在は大型化によって増加したトリガーレートに対応する新しいデータ取得システムの構築など残っている問題点を改善している。

## 観測 07a 熱成形薄板ガラスを用いた薄板ガラス母型小型化への展望

岩瀬 敏博 (名古屋大学 M1)

現在、名古屋大学では多重薄板型 X 線望遠鏡の開発を行なっている。これに使用されるミラーはレプリカ法という、ガラス母型に多層膜を成膜し基板を圧着・離型する方法で作られている。こうして得られたミラーの形状はガラス母型の形状を写し取ることがわかっている。しかし我々の要求する PV 値  $10 \mu\text{m}$  未満の形状のガラス母型は数が限られており、補充に多大な時間及び人手がかかる。これに対しガラス母型の表面に厚さ 0.2 mm の薄板ガラスを巻き、それを新たなガラス母型 (GCM: Glass Coated Mandrel) とする方法が開発されている。これによって形状の悪いガラス母型でもよい形状のミラーが得ることが可能となった。しかし、GCM は小型の母型に対しては薄板ガラスが割れてしまうため GCM 化できないという欠点があった。

本研究では薄板ガラスを熱をかけることで曲率半径 100 mm 程度に曲げ、その後ガラス母型に巻き付けるという方法で GCM の小型化をはかった。その結果、現在製作中の次期 X 線天文衛星 ASTRO-H 用硬 X 線望遠鏡で用いられる最小の径とほぼ同等の曲率半径 65 mm のガラス母型において GCM を製作し、ミラーを得ることに成功した。

## 観測 08a 大気チェレンコフ望遠鏡による高エネルギーガンマ線観測の原理と技術

石尾 一馬 (東京大学 M1)

1931 年に宇宙からの電波が観測されたのを皮切りに、1950 年代から

可視光以外の波長域での宇宙観測が本格的に発達し、多様な宇宙の姿が明らかになってきた。ガンマ線領域は最も短波長または高エネルギーの領域であり、宇宙の高エネルギー現象を最も直接的に調べることができる。高エネルギー宇宙の観測は、現在、銀河系内、銀河系外に、PWN、SNR、AGN など多種多様な 100 を超える最高エネルギーガンマ線源が発見されている。また、その数のみならず、近傍の明るい天体に関しては、観測の高精度化がすすみ、天体での物理現象をより詳細に研究する事が可能になってきた。今後は、超高密度物質、ブラックホールなどの極限時空、超高エネルギー宇宙線や暗黒物質粒子の対消滅ガンマ線の探索など、宇宙論や基礎物理学の発展に重大な貢献をもたらす可能性がある。本発表では、ガンマ線の中でも最も高エネルギーの TeV 領域の観測を可能にした大気チェレンコフ望遠鏡の観測原理とブレイクスルーとなった観測技術についてレビューを行い、今後の発展のために必要な技術について考察を行う。

1. A.M.Hillas, *Astroparticle Physics* 43(2013)19-43.
2. T.C.Weekes, "Very high energy gamma-ray astronomy" (2003), Institute of Physics Publishing, Bristol and Philadelphia.

### 観測 09a Cherenkov Telescope Array 計画大口径望遠鏡 用光電子増倍管の開発

永吉 勤 (埼玉大学 M1)

2015 年より建設が予定されている Cherenkov Telescope Array (CTA) 計画において大口径望遠鏡に搭載される光検出器には光電子増倍管 (PMT) が採用される。PMT は浜松ホトニクス社を共同開発を行っており、現在は設計段階から量産体制へと移行しつつある。第一弾の量産分として、1000 本の PMT が納品されており、我々はこれらの性能評価を進めている。

CTA の光検出器に対する性能要求として、標準動作ゲイン  $4 \times 10^4$ 、パルス幅 3.0 ns 以下、量子効率 35 % 以上、時間分解能 1.3 ns 以下、アフタパルス発生確率 0.02 % 以下、という要求値が課せられおり、これを量産型 PMT 満たしているかを試験する必要がある。またアフタパルスとは、入射光の検出後数マイクロ秒にわたって発生する疑似信号であり、本来の信号と全く同じ波形のため後段のエレクトロニクスでノイズとして判別することが難しい。そのためアフタパルスの発生確率はガンマ線イベントに対するエネルギー閾値を劣化させる重大な要因となるため、特に慎重に評価しなければならない。

今回我々は量産型 PMT のアフタパルス発生確率に重点をおいて性能評価試験を行い、その結果アフタパルス発生確率は想定される動作状態においては要求値を満たしている事を確認出来た。本講演では PMT の開発状況と上記の性能評価試験について報告を行う。

1. M.Actis et al. 2010, *Experimental Astronomy*, 32:193-316

### 観測 10b MAXI/SSC データを用いた突発天体の解析 のための突発天体発見システム Nova Search の改良

福島 康介 (日本大学 M1)

全天 X 線監視装置 (MAXI) は、2009 年 7 月に国際宇宙ステーショ

ン (ISS) の「きぼう」日本実験棟の船外実験プラットフォームに搭載された。MAXI は広い視野によって全天から飛来する X 線の強度を観測する。この観測データを突発天体発見システム Nova Search で解析することで、突発天体を発見する。MAXI に搭載されている SSC と呼ばれる CCD カメラでは、世界で初の 2 keV 以下のエネルギー領域で全天のスキャン観測を行っている。この観測データを Nova Search で読み込み解析することで、新しい発見が期待できる。そこで、本研究では、Nova Search での解析のための、観測データの読み込み機能の改良を行っている。今回の改良では、MAXI に搭載されている GSC と呼ばれる比例計数管を用いたカメラの検出器毎に保存されたアーカイブデータの同時読み込みが可能となり、オフライン解析でリアルタイムの解析の再現が可能となった。現在は、SSC の実観測データを読み込むための改良中である。

### 観測 11b 湾曲 Si 結晶反射鏡の形状制御による X 線偏 光観測能力の改善

泉谷 喬則 (中央大学 M1)

我々は X 線撮像偏光計の新しい反射鏡開発のために高い偏光検出力を期待できるブラッグ反射の原理に着目した。X 線天文学で重要な鉄の特性 X 線に対してブラッグ反射を起こす Si(100) 結晶を反射鏡として採用し、その Si 結晶を曲げることでブラッグ反射の弱点であるエネルギー帯域の狭さを克服した偏光 X 線の連続成分も観測できる反射鏡を作成しようと考えた。

反射鏡を曲げる方法としては、プラズマ CVD 装置により反射鏡裏面に DLC (Diamond-like-Carbon) を蒸着することで DLC と基板の間に内部応力が発生することにより円筒状に曲げることができた。そして、曲げた試料の試料の高さのデータを求め、円とのフィッティングを行い残差を求めることで円筒形に従っているということがわかった。また、その残差のデータから角度分解能を求めると 7.98[degree] と求まり、現在国際宇宙ステーションに搭載され観測を行っている装置 MAXI は、角度分解能およそ 1.0 degree であることと比較してみても、現時点で MAXI に桁を迫る性能を実現できていると言える。

### 観測 12b 可視撮像分光装置 NaCS の紹介と CCD 線形 性の評価

中尾 光 (北海道大学 D2)

我々は北海道大学 1.6m ビリカ望遠鏡のナスミス焦点に搭載する可視撮像分光装置 NaCS(Nayoro optical Camera and Spectrograph) の開発を行っている。NaCS は活動銀河核のモニター観測を主な目的として開発された装置であり、8.4' × 4.2'(ピクセルスケール 0''.246/pixel) の比較的広い視野を持つ。波長分解能は  $\lambda/\Delta\lambda \sim 300$  である。CCD カメラにはより広い波長域での観測ができるように、可視光域全域にわたり高い量子効率をもつ浜松ホトニクスの 2k×1k CCD を使い、読み出しシステムには東京大学で開発された KAC(Kiso Array Controller) を採用した。

2011 年 11 月に NaCS の分光ファーストライトと試験観測を行った。試験観測では 1 次処理をしても読み出しチャンネル間の光量レベルが一致しない問題が確認された。これは、CCD の線形性が低カウント時に悪化する事によって発生しており、その原因は CCD の駆動電圧のうちパラレル転送クロック電圧とサミングゲート電圧の電圧値が CCD の動

作条件電圧値外になっていたためであった。

本講演では NaCS の紹介と CCD の線形性の測定結果と補正結果について報告する。

### 観測 13b 自作断熱消磁冷凍機上での X 線マイクロカロリメータの性能向上を目指した研究

高倉 奏喜 (金沢大学 M1)

X 線マイクロカロリメータは、入射光子 1 つ 1 つを素子の温度上昇として検出する検出器であり、0.1 K 以下の極低温での動作により  $E/\Delta E \geq 1000$  のエネルギー分解能を実現する。我々は次世代 X 線天文衛星への搭載を目指し、超伝導遷移端温度計を利用した TES (Transition Edge Sensor) 型 X 線マイクロカロリメータと、無重力下で 0.1 K 以下を実現する断熱消磁冷凍機 (ADR) の開発を一体で進めている。ADR に関しては十分な冷却性能をもつ磁性体カプセルを自作出来るようになった。5.9 keV の X 線に対するエネルギー分解能は先行研究では 90 eV (FWHM) であったが、超伝導マグネットの磁気シールドを改良することにより、17 eV まで改善した。

### 観測 14a 岡山 3.8 m 望遠鏡エッジセンサーの開発

河端 洋人 (京都大学 M1)

京都大学、名古屋大学、国立天文台、(株) ナノオプトニクスエナジーが協同で推し進める岡山 3.8 m 望遠鏡計画において、主鏡には 18 枚の扇形分割鏡を用いる。分割鏡は望遠鏡構造の重力変形と熱変形により、鏡同士の位置にずれが生じ、焦点が合わなくなる。それを補正するため、分割鏡セグメントの境界において、隣り合うセグメントの相対位置を検知するセンサーが必要になる。本計画においては日本システム開発のインダクタンス型センサーを用いるが、このセンサーは温度・湿度・圧力等の環境依存性を持ち、正確な距離測定には補正が必要になる。本講演では、これまでに行われたセンサーの温度特性を調べる実験及び補正の手法、これからの研究について述べる。

### 観測 15a 京大 3.8 m 新技術望遠鏡分割鏡制御のためのアクチュエータの特性評価

長友 竣 (京都大学 M1)

京大が現在計画中の 3.8m 新技術望遠鏡において、分割鏡制御に使用するアクチュエータの特性を測定した。3 値矩形波による測定の結果から、アクチュエータの運動方程式を用いて、特性を求める予定である。

1. 望遠鏡ワーキンググループ. 2010. 岡山 3.8m 新技術光学赤外線望遠鏡計画書

### 観測 16a 京大岡山 3.8 m 望遠鏡 分割鏡間の段差計測のための位相カメラ

上野 忠美 (京都大学 M1)

現在京都大学では様々な研究機関と共に岡山観測所に 3.8 m 望遠鏡の建設を進めている。建設予定の望遠鏡の主鏡は分割鏡であるためその分割鏡の間の段差を計測しなければならない。その理由は、星の良い像を得るためには主鏡を一枚鏡のように見せなければならないのでこの段差を小さく (数十 nm 程度) しなければならないためである。このような段差計測には位相カメラというシステムを用いた計測方法がある。ここでは新技術であるレーザーを用いた位相カメラでの分割鏡間の段差計測の説明をする。

### 観測 17a 京大岡山 3.8m 望遠鏡計画：副鏡計測技術の開発

江見 直人 (京都大学 M1)

京大岡山 3.8 m 望遠鏡計画は京都大学、名古屋大学、国立天文台および (株) ナノオプトニクスエナジーの共同により、国立天文台岡山天体物理観測所に世界初の扇形の分割鏡による光赤外線望遠鏡を建設するものである。本講演では望遠鏡製作において重要な要素となる副鏡計測技術の開発状況について説明する。

本望遠鏡の副鏡は  $\phi = 1100$  m の非球面の凸面鏡である。表面精度は  $RMS \leq 100$  nm が求められる。計測技術の仕様としては、まず第一に非球面の凸面が計測可能であること、測定精度  $RMS \leq 50$  nm が求められる。

開発中の計測技術は、変位計を 3 軸直交ステージにより鏡表面を走査させ、得られる点情報から面形状を生成することを原理とする。3 軸直交ステージとして鏡の加工機であるナガセインテグレックス製の研削盤とそれにとりつけたレーザー変位計 (プローブ) によって行う。このため加工機とプローブの再現性が計測精度を決定する。

現時点で加工機とプローブを合わせたシステムでは  $RMS = 10$  nm の再現性があることを確認した。そこで基礎実験として  $\phi = 150$  mm、曲率半径 1600 mm の球面の凹面鏡を作りプローブ付き加工機で測定をした。評価はフィゾー干渉計を使った。結果はフィゾーとの差が、 $RMS = 26$  nm となった。

1. Peng Su. 2012. Swing-arm optical coordinate measuring machine

### 観測 18a TAO6.5m 望遠鏡用近赤外線観測装置 SWIMS のための検出器評価試験

西嶋 颯哉 (東京大学 M1)

TAO 6.5m 望遠鏡が設置される南米チリ・アタカマ高地のチャナンツール山は、標高が高く (5,640m) 上空の水蒸気量も極めて少ない (可降水量 0.5mm) ために近赤外線波長域 (0.9-2.5  $\mu$ m) においてほぼ連続的な大気の窓が得られる。この利点を活かした観測を行うために、我々は近赤外線 2 色同時多天体分光撮像装置 SWIMS (Simultaneous-color Wide-field Infrared Multi-object Spectrograph) の開発を 2009 年度から進めている。

SWIMS に搭載する検出器は、Teledyne Scientific & Imaging 社の CMOS センサ、HAWAII-2RG である。デュワーの整備を行い、真空 ( $< 10^{-6}$  torr) 冷却 (液体窒素温度; 77K) 下での試験を行ってきた。これまでに、読み出しノイズ、ADU-エレクトロン変換係数、暗電流、な

どの性能評価を実施した。本講演では、検出器駆動試験の概要と測定した性能値について述べる。

1. Konishi, M., et al. 2012, Proc. SPIE, 7733, 773308-9
2. Miyata, T., et al. 2008, Proc. SPIE, 7012, 701243
3. Yoshii, Y., et al. 2010, Proc. SPIE, 7733, 773308-1

### 観測 19a 観測装置 AROMA-N における新しい観測ネットワークシステムの作成

川村 大地 (青山学院大学 M1)

青山学院大学吉田研究室では相模原キャンパス L 棟屋上に設置した口径 30cm の望遠鏡を用いて可視光領域における時間変動天体の即時追観測及びモニター観測を主目的とした、観測装置 AROMA-N を開発運用している。先行研究により GRB(ガンマ線バースト) 残光の追観測システムが導入されており、GRB の発生時には即時観測出来るようになっている。また、突発天体の発生時以外では既知の変光天体を複数のスクリプトを使用した自動観測システムを用いて観測を行っている。しかしこの自動観測システムは、望遠鏡、ドーム、CCD の冷却等の操作がそれぞれ独立したプログラムによって制御されているため、複雑な構成となっており、人間が多く作業する必要があり、観測効率を上げることが難しかった。そこでこれらの複雑なシステムを簡略化し、さらに Web 上での管理、観測を可能にすることにより容易に観測を行うことが出来るソフトウェア、ACP を使用した新しい自動観測システムの導入を行っている。本発表では観測装置の概要、システム、対象となる天体、そして ACP を使用した新しい観測ネットワークシステムの概要と導入について述べる。

1. 『ACP Observatory Control Software』  
(<http://acp.dc3.com/index2.html/>)

### 観測 20a 国際宇宙ステーション搭載 CALET ガンマ線バーストモニター開発における振動試験、熱真空試験の結果報告

井上 亮太 (青山学院大学 M1)

国際宇宙ステーション (ISS) 日本実験棟の船外実験プラットフォーム、第二期利用計画として高エネルギーの電子線・ガンマ線などの宇宙船を観測対象とした観測装置「CALET(CALorimetric Electron Telescope)」が 2014 年に宇宙ステーション「こうのとり」5 号機 (HTV5) で ISS に運ばれ、5 年間もの長期にわたって継続的に宇宙線観測を行う。現在我々の研究室では CALET 搭載「CALET ガンマ線バーストモニター (CGBM)」の地上キャリブレーション段階には入っている。CGBM は 7 keV~1MeV のガンマ線を観測対象とする硬 X 線モニタ (HXM) を 2 基、100keV~20MeV のガンマ線を対象とする軟ガンマ線モニタ (SGM) 1 基を搭載する。しかし、観測を行うまでにはいくつかの要求を満たしていなければならない。まず H-2B ロケットで大気を抜けるまでに大きな振動がかかるためその振動に耐えるものでなければならない。次に CGBM が設置されるのは船外、つまり真空中である。さらに地球周回に伴って、温度は-17℃~35℃と大きく変動する。その状況下で正確にデータを取得し続けなければならないため、真空時の温度変化耐性も要求され

る。今回は SGM について、振動耐性を調べるために XYZ 方向それぞれに対し共振振動試験とランダム振動試験を、真空時温度変化耐性を調べるために、真空中で-30℃~45℃の温度サイクルをかける熱真空試験を行った。結果として試験直後では SGM の性能 (光量) に変化は見られなかった。

### 観測 21a CALET ガンマ線バーストモニター Hard X-Ray Monitor コリメータ透過率を考慮した有効面積の計算

川久保 雄太 (青山学院大学 M1)

2014 年の夏に国際宇宙ステーション日本実験棟船外実験プラットフォームに搭載予定の高エネルギー宇宙電子線ガンマ線観測装置 CALET は主検出器であるカロリメータと青山学院大学吉田研究室が中心となって開発している CALET ガンマ線バーストモニター (CGBM) によって構成される。CGBM は 7 keV~1 MeV の X 線を対象とする硬 X 線モニター (HXM) と 100 keV~20 MeV のガンマ線を対象とする軟ガンマ線モニター (SGM) から構成され、現在、HXM、SGM 共にフライト品の製造が始まり、地上校正試験を行う段階にある。現在稼働中のガンマ線バースト観測衛星によるガンマ線バーストの観測では 10 keV 以下の観測データが少ない。一方 CGBM(HXM) は 10 keV 以下の X 線にも感度があるためガンマ線バーストの 10 keV 以下の観測データを得られると期待されている。しかし 10 keV 以下の X 線領域では銀河中心の明るい天体や宇宙 X 線背景放射、太陽 X 線などのバックグラウンドの寄与が無視できない。特に銀河中心の明るい X 線源からの寄与は観測への影響が大きく、HXM では対策としてコリメータによって視野を絞り大角度からのバックグラウンドの寄与を軽減している。コリメータが 10keV 以下の X 線透過率を抑え、かつ 10 keV 以上の X 線に対して可能な限り透明であるという要求を満たしているかの確認を含め、天体から来る X 線を観測する際にコリメータが与える影響を知っておくことは極めて重要である。本研究ではコリメータ素材である Vespel SP-1 の板の透過率を測定し、測定した結果を元にコリメータの入射角度毎の有効面積を計算した。計算した結果、天頂角で 60 度入射角の場合でコリメータがない場合の有効面積を 100% とした時、8.1 keV で 52%、32.1 keV で 94% となりコリメータへの要求を満たしていることがわかった。

1. 早稲田大学 CALET Web サイト  
<http://www.calet.rise.waseda.ac.jp/>
2. NASA CALET Web サイト <http://calet.phys.lsu.edu/>
3. Glen F.Knoll 「Radiation Detection and Measurement」日刊工業新聞社

### 観測 22a 国際宇宙ステーション搭載 CALET ガンマ線バーストモニター開発における硬 X 線モニターの分解能の改善

寺澤 俊介 (青山学院大学 M1)

2014 年の打ち上げ予定、現在開発中の宇宙線観測装置 CALorimetric Electron Telescope(CALET) は国際宇宙ステーション (ISS) の日本実験棟「きぼう」に設置され、5 年間の観測を予定している。CALET には 青山学院大学吉田研究室が中心となり開発中である CALET ガン



マ線バーストモニター (CGBM) の搭載が決定している。CGBM は宇宙でもっとも明るい爆発現象の 1 つであるガンマ線バーストなどの天体突発現象を、X 線やガンマ線 領域で観測する事を目的とする。CGBM は 2 種類のシンチレーション検出器を搭載し、その 1 つである 7 keV - 1 MeV で感度のある硬 X 線モニター (HXM) は CALET の最終設計段階において、検出器に使用できる空間容積に限りが生じ、シンチレータに比べ口径の小さい光電子増倍管を使用せざるをえなかった。そのために単一のエネルギー源に対する応答が、本来はシングルピークで見られるものが 2 つに分裂しダブルピークで観測されるという問題が起きた。今回ダブルピークに分裂してしまう原因を追求するためシンチレータ面に対し位置依存性を測定し、応答の変化を測定した。本発表では行った実験の詳細とその結果について述べる。

### 観測 23a マイクロマシン技術を用いた次世代宇宙 X 線望遠鏡の開発

生田 昌寛 (首都大学東京 M1)

我々はマイクロマシン技術を用いて、厚さ 300  $\mu\text{m}$  の薄いシリコン基板に微細な穴を開け、その穴の側面を X 線の反射鏡として利用する、独自の超軽量かつ高性能な宇宙 X 線望遠鏡の開発を行っている。これまで我々のグループでは光学系を自作して、軟 X 線 ( $\text{Al K}\alpha$  1.49 keV) を照射し、世界で初めて X 線結像に成功してきた。しかし、衛星搭載のためには、さらに結像性能の良い光学系を製作する必要がある。本講演では光学系の性能向上へ向けた取り組みについて紹介する。

1. Y. Ezoe, et al., *Microsys. Tech.*, 2010, 16, 1633.
2. Y. Ezoe, et al., *Opt. Lett.*, 2012, 37, 779.

### 観測 24a 宇宙 X 線観測に向けた次世代撮像分光器 SOIPIX の開発

松村 英晃 (京都大学 M1)

我々は、宇宙 X 線観測に向けた次世代撮像分光器として Silicon-On-Insulator(SOI) 技術を用いた Si CMOS センサー (以降、SOIPIX) を開発している。我々が開発してきた SOIPIX は XRPIX と呼ばれるシリーズで、各ピクセルにセルフトリガー機能を持ち、X 線が入射したピクセルだけを読み出すことで高い時間分解能 ( $\sim \mu\text{s}$ ) を達成できる。これによりアクティブシールドを導入することが可能となり、宇宙線による非 X 線バックグラウンド (Non X-ray Background: NXB) を大幅に減らし、広いエネルギー帯域観測 (0.5–40 keV) が実現できる。これまでに、試作機として XRPIX1、XRPIX1b を製作し、基本性能を確認した。そして 2012 年、従来より 10 倍高い比抵抗を持つ Floating Zone (FZ) ウェハを検出部に用いた表面照射型の素子、XRPIX1b-FZ を制作した。X 線照射試験の結果、500  $\mu\text{m}$  の完全空乏化を確認するとともに、エネルギー分解能は 14 keV の X 線に対して 7.4% FWHM、ゲインは 5.9  $\mu\text{V}/\text{e}^-$  を達成した。また、裏面照射型の素子も現在開発中である。本講演ではこれらの性能試験の結果について発表する。

1. 中島真也, SOI 技術を用いた広帯域 X 線撮像分光器「XRPIX1」の評価試験と性能向上の研究. 京都大学, 2011, 修士論文.
2. S. Nakashima, S. G. Ryu, T. G. Tsuru, A. Takeda, Y. Arai, T.

Miyoshi, R. Ichimiya, Y. Ikemoto, T. Imamura, T. Ohmoto, A. Iwata, “Progress in Development of Monolithic Active Detector for X-ray Astronomy with SOI CMOS Technology”, *Physics Procedia*, Vol. 37, pp 1373 – 1380, 2012.

### 観測 25a (講演キャンセル)

### 観測 26a SAS シミュレーションによる低周波防振評価と低周波重力波検出

小野 謙次 (東京大学 M1)

KAGRA において検出できる重力波信号は、様々なノイズによる検出限界値が存在する。それらの感度の制限において、低周波帯の感度は主に輻射圧雑音と鏡の振動により決定され、特に鏡の振動は低周波の感度に強い制限を与えてしまう。KAGRA は鏡を防振するため低周波防振装置 SAS を導入することが計画されている。これにより、より低周波側に重力波の感度が伸び、パルサー等低周波における重要な重力波信号が検出できるようになることが期待されている。

今回、KAGRA に導入される SAS のモデルをつくり、シミュレーションを行うことにより、低周波域においてノイズをどのくらい軽減できるのかを見た。それにより、防振系をなす倒立振子、GAS フィルターはより良く低周波数帯において防振されていることがわかったが、パルサーの周波数帯域においてヒートリンクの雑音が大きくなり、感度が悪化してしまうという結果を得た。

### 観測 27a 量子雑音と重力波検出器

小仁所 志栞 (東京大学 M1)

重力波は TAMA300 や LIGO など、世界中で干渉計を用いた検出を行われている。重力波は微小な波動であるため、観測するためにはさまざまな雑音を除去しなければならない。雑音源として地面振動や熱雑音、量子雑音などさまざまな雑音が検討され、除去するための研究がなされてきた。

以下では特に量子雑音について考える。量子雑音は不確定性関係から標準量子限界を持つ。より高い感度で重力波を検出するためには、標準量子限界を超える必要がある。そのための装置が QND 干渉計である。(i) スクイズド光の入力 [1]、(ii) さまざまな物理量の出力、(iii) 鏡の位置の変調、(iv) 交換する物理量の測定、を満たす [2]。

1. Shihori Sakata et al, *Journal of Physics: Conference Series* 32 (2006) 464-469
2. Thomas Corbitt and Nergis Mavalvala, *J. Opt. B: Quantum Semiclass. Opt.* 6 (2004) S675-683

### 観測 28a 大型重力波検出器 KAGRA

牛場 崇文 (東京大学 D1)

現在、日本では第二世代型重力波検出器 KAGRA の建設が進んでいる。KAGRA は地下サイトの利用や鏡の低温化などの海外の検出器にはない特徴を持つほか、防振やレーザー、鏡の製作などに世界最高水準の技術が多数使用されている。また、KAGRA では SQL と呼ばれる量子論的な測定限界に感度が制限されることが予想されており、それに関する研究も行われている。さらには、重力波検出器に使用するレーザーはハイパワーかつ安定な光源である必要があり、それらの開発も行われている。

本講演では重力波検出器 KAGRA の紹介をしたうえで、レーザー光源の開発について説明を行う。

### 観測 29a ASTRO-H 搭載硬 X 線望遠鏡 2 号機の光学調整

佐治 重孝 (名古屋大学 M1)

現在、名古屋大学では 2013 年打ち上げ予定の次期 X 線天文衛星“ASTRO-H”に搭載する硬 X 線望遠鏡 (Hard X-ray Telescope, HXT) の製作を行っている。この望遠鏡の 2 号機について、光学調整を大型放射光施設“SPring-8”の BL20B2 で行った。

HXT は、硬 X 線を集光するために斜入射、2 回反射の光学系を採用している。この望遠鏡の結像性能が劣化する要因としては、大まかに 1. 光学系の形状の近似、2. 動径方向の調整誤差、3. 反射鏡の形状誤差、4. 反射鏡位置決め誤差 の 4 つが挙げられる。このうち、2 の動径方向の位置調整を行った。実際に望遠鏡に X 線を照射することで、像の位置から反射鏡の角度を求めることができる。その角度を設計値に合わせるようにして調整した。この調整は、圧電素子を利用した”ピエゾアクチュエータ”を用い、反射鏡を支持しているバーを動かすことで行った。その結果、反射角のずれは望遠鏡開口部のどの扇形の領域についてもほぼ 0.2 分角以内に収まり、HXT1(結像性能:HPD=1.9 分角)と同等の結像性能を実現した。

### 観測 30a ASTRO-H 搭載硬 X 線望遠鏡 1 号機 (HXT-1) 地上較正試験

立花 献 (名古屋大学 M1)

名古屋大学 Ux 研究室では、次期 X 線天文衛星 ASTRO-H に搭載する硬 X 線望遠鏡 (HXT) の開発を行っている。HXT は Pt/C 多層膜スーパーミラーを用いて、10-80 keV の硬 X 線領域まで感度を向上させた望遠鏡で、焦点面検出器 (HXI) と共に硬 X 線分光撮像観測を行う。ASTRO-H には 2 台の HXT が搭載される。そのうちの 1 台目 (HXT-1) は反射鏡全 1278 枚の搭載を完了し、大型放射光施設 SPring-8 にて X 線による光学調整が行われた。光学調整とは反射鏡を上下端から支えるアライメントバーを調整することで結像位置のばらつきを抑えるものである。その後望遠鏡は宇宙科学研究所 (ISAS) にて迷光防止用のプリコリメータが搭載され、衛星打ち上げ時の環境を模した音響試験・機械振動試験が行われた。2012 年 11 月から 12 月にかけては、天体観測データの解析に用いる応答関数の構築に必要なデータを取得するために、SPring-8 で地上較正試験を行った。具体的な測定項目は、光軸での有効面積、有効面積の入射角依存性、結像性能などである。その結果、30 keV のエネルギーで有効面積が  $170.1 \pm 1.7 \text{cm}^2$ 、結像性能が 1.92 分角、50 keV のエネルギーで有効面積が  $82.3 \pm 1.6 \text{cm}^2$ 、結像性能が 1.80

分角という値を得た。本講演では、地上較正試験の測定方法とその結果をまとめ、地上における HXT-1 の光学特性について考察する。

1. 出本忠嗣: 修士論文「ASTRO-H 搭載硬 X 線望遠鏡 (HXT-1) 地上較正試験」(名古屋大学理学研究科)(2012)

### 観測 31a 次期 X 線天文衛星 ASTRO-H における時刻配信精度の検証

井上 拓 (埼玉大学 M1)

ASTRO-H は現在開発中の X 線天文衛星である。ASTRO-H の観測対象には、パルサーなどの数 ms の周期で激しく時間変動するものも存在する。このような天体を観測するためには、X 線イベントに対して  $\mu\text{s}$  オーダーの精度で時刻付けをする必要がある。

X 線イベントに時刻付けをするためには、基準となる時刻を検出器まで配信しなくてはならない。我々はミッション要求である  $30 \mu\text{s}$  以内の時刻付け精度を達成するために、この配信経路での誤差を検証している。現在、先行研究により衛星内の SMU から各観測装置への時刻配信精度を検証する方法が確立されており、衛星搭載同等品を用いた試験では  $2 \mu\text{s}$  以下の誤差に収まっていることが確認された。ここではこの検証方法について報告する。

1. 神頭知美. 修士論文. 埼玉大学. 2010
2. 岩瀬かほり. 修士論文. 埼玉大学. 2012

### 観測 32c 京大 3.8m 望遠鏡における極限補償光学系の開発

夏目 典明 (京都大学 M2)

地上から系外惑星を観測する場合、地球大気の乱流によって光の波面は歪められてしまい、空間分解能は低下し、主星からの散乱光によってコントラストは制限される。極限補償光学とはその大気による光の波面の歪み (収差) をリアルタイムで計測・補償して、空間分解能とコントラストを向上させる装置である。地球型惑星の直接撮像を達成するためには、観測波長の 30 分の 1 まで収差を低減することが要求される。我々は、TMT と同じ分割式望遠鏡の京大 3.8m 望遠鏡に極限補償光学装置のプレカーサーを取り付けて、実証を行なう予定であり、地球大気によって生じる収差を一次、低次、高次に分けて計測・補償し、観測波長の 30 分の 1 まで収差を低減することを目指す。まず我々は、一次、低次の収差を Shack-Hartmann 波面センサを用いて計測し、最大ストローク  $35 \mu\text{m}$  の Tip/Tilt 鏡、最大ストローク  $15 \mu\text{m}$  の 88 素子可変形鏡によって補償を行なう光学系を実験室において構築した。ループを 5Hz の速度で制御し、岡山の大气を模擬した環境で、収差のリアルタイム計測・補償を行った。本稿では、極限補償光学系の概要、および室内実験の結果について報告する。

1. Neville Woolf, J. Roger Angel, 1998, AR Vol. 36: 507-537
2. Richard Davies, Markus Kasper, 2012, AR
3. Robert J. Noll, 1976, JOSA, Vol. 66, Issue 3, pp. 207-211

### 観測 33c 次世代ガンマ線観測装置のための高速波形記録集積回路

河島 孝則 (名古屋大学 M1)

宇宙に存在する高エネルギー粒子である宇宙線は、最高でおよそ  $10^{20}$  eV のエネルギーのものがみつがっているが、その加速機構については未解明な部分が多い。ガンマ線の観測による高エネルギーの宇宙現象の研究は、そうした謎に迫る手段として期待されている。これまでも地上ガンマ線望遠鏡によるガンマ線の観測が行われてきたが、高エネルギーの宇宙現象についてより深い理解を得るためには、観測装置の更なる発展が必要となってきた。Cherenkov Telescope Array (CTA) は超高エネルギーのガンマ線観測を目的とした次世代地上ガンマ線望遠鏡であり、現行の地上ガンマ線望遠鏡に対して 10 倍の感度を持ち、観測可能エネルギー帯域を 20 GeV から 100 TeV まで広げた観測が可能となる。CTA では 100 台近い非常に多くの望遠鏡を用いるため、望遠鏡 1 台あたりの建設費用低減が必須であり、望遠鏡の焦点面に設置するカメラモジュールの小型化は、その費用低減に大きな役割を果たす。そこで、副鏡を持つ望遠鏡である Schwarzschild-Couder Telescope (SCT) の専用波形記録集積回路として、TeV Array Readout with GSa/s sampling and Event Trigger (TARGET) を我々は開発している。現在は TARGET 5 を開発しており、集積回路に要求される性能、機能の多くの点を満たしている。今回はその TARGET 5 の詳細を紹介し今後の開発予定を展望する。

1. M.Actis et al. "Design concepts for the Cherenkov Telescope Array CTA: an advanced facility for ground-based high-energy gamma-ray astronomy", *Experimental Astronomy* 32 (2011) 193-316
2. B.S.Acharya et al. "Introducing the CTA concept", *Astroparticle Physics* 43 (2013) 3-18
3. K.Behtol et al."TARGET:A multi-channel digitizer chip for very-high-energy gamma-ray telescopes", *Astroparticle Physics* 36 (2012) 156-165

### 観測 34c 小型望遠鏡を使用した太陽観測の自動化

須藤 謙人 (茨城大学 M1)

太陽活動と類似したプラズマ現象は、恒星や原始星で多く見られる。そのため地上での太陽観測を含め、太陽活動の究明は他の天体のプラズマ現象の理解に重要である。また、地上からの太陽観測は、太陽専門望遠鏡が主に活躍している。しかし専門望遠鏡での地上太陽観測では、夜間は当然不可能であり、また天候によっても左右される。日本の晴天率は低く、毎日の定常的観測は不可能と言える。そのため、各地の観測網を巡らし、比較的気候の良いときに観測を行う観測システムが必要である。そこで不可欠なのが定常観測の自動化である。本研究では太陽の望遠鏡への導入、追尾、格納までを、望遠鏡を PC により操作することで自動化を目指す。

### 観測 35c 多天体補償光学のためのトモグラフィック推定の広視野化

大野 良人 (東北大学 D1)

我々のグループでは TMT の第 2 期装置として多天体補償光学 (MOAO) を検討している。MOAO は地上観測において大気揺らぎの影響を補正する補償光学を、広視野内の 10 個以上の天体に対して同時に適用させる次世代の新しい補償光学の 1 つである。MOAO では複数のガイド星の光の位相波面の測定し、その測定値からトモグラフィック推定という技術が重要である。現在 TMT で検討されている MOAO の視野は直径  $5'$  となっているが、特に MOAO を用いた  $z \sim 6$  以上の Lyman Break Galaxy の静止系紫外線波長域の連続光スペクトルの多天体分光観測を実現するためには、天体数を稼ぐために直径  $10'$  以上の視野が必要であり、その視野に対応する広い領域の大気揺らぎを推定できるトモグラフィック推定の手法が求められる。

本研究では計算機上で多天体補償光学を再現するシミュレーションによるトモグラフィック推定の手法の開発と評価を進めており、直径  $10'$  の視野内で精度良く大気揺らぎを推定するトモグラフィック推定の新しい手法を開発した。開発した手法では風速の情報から少し前の測定値が現在のどの領域の情報かを計算し、現在の測定値と少し前の測定値の両方を用いて推定を行うことで、用いる測定値を増やし、広い視野内で推定精度を向上させることができる。シミュレーションの結果、理想的な状況では今回開発した手法により直径  $10'$  の視野で推定残差 250nm 以下 (ストレル比 0.6 以上 @Kband, Ensquared Energy  $\sim 60\%$  以上 in  $0.05'' \times 0.05''$ ) という精度で推定できることがわかった。

1. Ellerbroek, B. L., 2002., *J. Opt. Soc. Am. A*, 19, 1803-1816.
2. Wilson R. W., 2002, *MNRAS*, 337, 103
3. Bouwens, R. J. et al, 2012, *ApJ*, 752, L5.

### 観測 36c SPICA/SAFARI のための TES 型遠赤外線検出器アレイ開発

馬場 俊介 (東京大学 M1)

SPICA は日本の次世代赤外線宇宙望遠鏡ミッションであり、SAFARI は SPICA に搭載される TES 型検出器を用いたフーリエ分光器である [1]。SAFARI がカバーする波長は全体で  $34\text{-}210 \mu\text{m}$  であるが、そのうちの  $34\text{-}60 \mu\text{m}$  を S バンドと呼んでいる。S バンドでの赤外線検出は、超伝導体として Ti/Au 二重層を使う。SPICA 打ち上げまでに求められているのは、TES 型検出器を並べて  $43 \times 43$  ピクセルのアレイにし、分光と撮像とを同時に行える観測機器を作成することである。今回は、TES アレイの暗時特性を評価した実験 [2] を紹介し、今後の課題を述べる。

1. T. Nakagawa et al. (2012), *Proc. of SPIE*, Vol. 8442, 844200
2. P. Khosropanah et al. (2012), *Proc. of SPIE*, Vol. 8452, 845209

### 観測 37c 1.85 m 電波望遠鏡プロジェクトの進捗

徳田 一起 (大阪府立大学 M2)

我々は、口径 1.85 m のミリ波・サブミリ波望遠鏡を開発し、野辺山宇宙電波観測所に設置し運用している [1]。この望遠鏡は、 $^{12}\text{CO}$ ,  $^{13}\text{CO}$ ,  $\text{C}^{18}\text{O}$  ( $J=2-1$ ) の 3 輝線を同時に、2.7 分角の角度分解能で観測できることが特徴であり、近傍分子雲や、銀河面のサーベイなどを推進している。2012 年度には受信機システムを両偏波観測方式にアップグレードし、観測効率を 2 倍に高めることに成功した。さらに、我々はこの望遠鏡を銀河中心など広速度幅ターゲットに対応させるため、分光計および IF 系の広帯域化を進めると同時に、受信機の更なる高感度化に向けて改良を行っている。本講演では 1.85 m 鏡における開発状況、将来計画等について報告を行う。

1. Onishi et al. 2013 PASJ

## 観測 38c 観測地としての南極環境と南極赤外線望遠鏡

小幡 朋和 (東北大学 M1)

寒冷乾燥環境かつ安定大気をもつ南極大陸は、天文学にうってつけの場所である。寒冷環境によって大気の赤外線放射が少なくなり、接地境界層よりも高い場所に望遠鏡を設置することで最高のシーイングを得ることができる (Micheal C. B. Ashley 2012)。ドーム C での平均シーイングは  $0.36''$  であり、マウナケア山頂の半分程度である。また、低可降水量による高い大気透過性も、南極大陸を理想的な観測地とする一つの要因である (Micheal G. Burton et al 2010)。このような天文学に最適な南極環境に着目し、東北大学では南極赤外線望遠鏡計画を進めている。現在、南極 40cm 赤外線望遠鏡のカセグレン焦点に設置予定の三色カメラ AIR-C (Ramsey Lundock 2012) の設計段階である。AIR-C の検出バンドは、K バンド:  $2.0 - 2.4\mu\text{m}$ 、L バンド:  $3.7 - 4.0\mu\text{m}$  および Antarctica バンド:  $2.8 - 3.5\mu\text{m}$  である。さらに計画中の 2.5m 赤外線望遠鏡は、今までにない高感度の赤外線観測を可能にするだろう。

1. Micheal G. Burton et al., 2010, A & A Rev
2. Micheal C. B. Ashley, 2012, Astrophysics from Antarctica (IAU symposium 288)
3. Ramsey Lundock and Takashi Ichikawa, 2012, Proc. of SPIE Vol. 7014 70142O-1